

Christy She

在许多系统（尤其是电池供电的系统或试图避免因自发热而引起测量误差的封闭式系统）中，电源电流是传感器的重要选择标准。它往往不只是查看数据表中的数字那么简单，尤其是对于要收集温度和湿度的较慢占空比检测应用而言。在这种情况下，必须使用休眠电流和有效电流以及测量频率和测量持续时间来计算消耗的总电流或平均电流。传感器的某些特性（例如，当检测值超出预编程阈值时，警报引脚会变为高电平）使更高电流的 MCU 或 DSP 处理器能够保持更长时间的睡眠状态，并且仅当检测值超出预编程阈值时才被传感器的警报引脚唤醒，因此会降低某些应用的系统级电流。

本文重点介绍相对湿度传感器，说明了传感器平均电流的计算方法、降低电流的方法以及系统级电流注意事项，以便在您的预期应用中实现最低电流。

计算传感器平均电流

对于在两次测量之间进入睡眠状态的任何占空比传感器，请使用[方程式 1](#) 来计算其平均电流消耗量。

$$I_{\text{sensor_avg}} = (f_m \times I_{\text{meas}} \times t_{\text{meas}}) + (I_{\text{sleep}} \times (1 - f_m \times t_{\text{meas}})) \quad (1)$$

其中

- f_m 是测量频率，以 Hz 为单位
- I_{meas} 是传感器主动进行测量时的电源电流。这个电流在 RH 传感器数据表中通常被称为 I_{active} 。
- I_{sleep} 是传感器处于睡眠模式（两次测量之间）时的电源电流
- t_{meas} 是有效测量持续时间，以秒为单位

对于低功耗传感器来说，睡眠电流和有效电流哪个更重要？

许多检测模式（例如，湿度和温度）进行低频率测量，允许传感器在两次测量之间进入低功耗（睡眠）状态。有些传感器（例如，HDC3020）在两次测量之间会自动进入此睡眠模式，而其他传感器需要通过特定命令进入睡眠模式。测量频率越低，睡眠模式电流降低带来的好处就越大，因为传感器处于睡眠模式的时间较长，而处于更高电流测量状态的时间较短。

[图 1](#) 显示了根据 [HDC3020](#) 相对湿度 (RH) 和温度传感器的测量频率计算出的平均测量电流（使用[方程式 1](#)）。虽然图中的斜率和偏移特定于 [HDC3020](#) 传感器，但平均电流随着检测频率增加而增大的趋势适用于所有传感器。这是因为每秒的测量次数越多，相比处于睡眠状态的时间，传感器处于更高电流有效测量状态的时间就越长。因此，根据应用的测量频率，睡眠电流或有效电流中的任何一个都可能成为影响整体平均电流的更重要的因素。

为了实现更低的电流消耗曲线，当应用不需要最低噪声时，湿度和温度传感器通常会提供低功耗模式选项。不同的传感器使用不同的名称来表示这种配置。一些常用的名称包括：分辨率精度、低功耗模式和可重复性。选择低功耗模式时，测量持续时间通常会减少，有效电流也可能降低。[图 1](#) 显示了电流节省情况。全部四种功率模式在最慢测量频率下都有非常相似的平均电流。这是因为在低于 1Hz 的测量频率下，平均电流由睡眠电流主导，而睡眠电流在不同模式下并没有发生变化。然而，随着测量频率的增加，有效电流愈发占据主导地位，不同模式之间的电流增量也会增加。

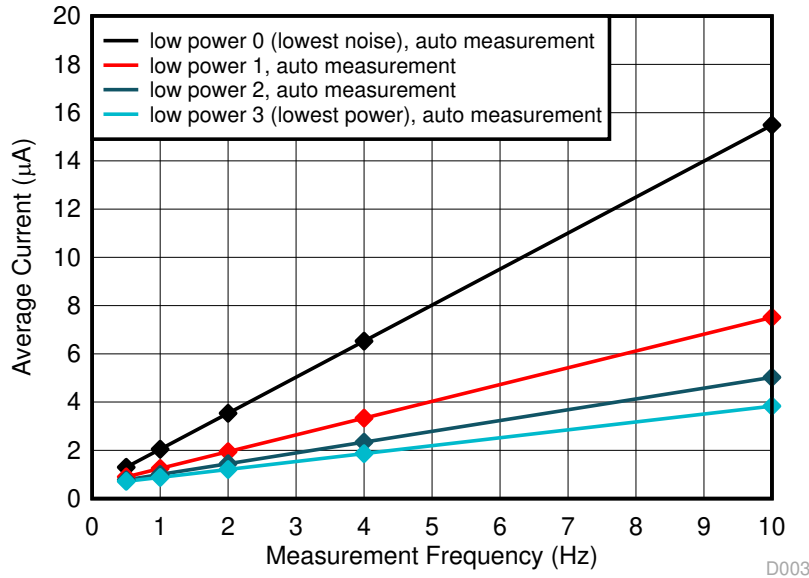


图 1. HDC3020 湿度传感器平均电流与不同功率模式下的测量频率

图 2 绘制了 HDC2080 和 HDC3020 湿度和温度传感器的平均电流与测量频率图。HDC2080 的睡眠电流比 HDC3x 几乎低 10 倍，而 HDC3x 的有效电流比 HDC2080 低 6 倍。图中显示，在 1Hz 及更高测量频率下，HDC3x 更低的有效电流占据主导地位，可实现最低的平均电流。在极低的测量频率（0.5Hz 和更低）下，HDC2080 的睡眠电流更低，从而实现更低的平均电流。这说明传感器的最低功率取决于应用的测量频率。

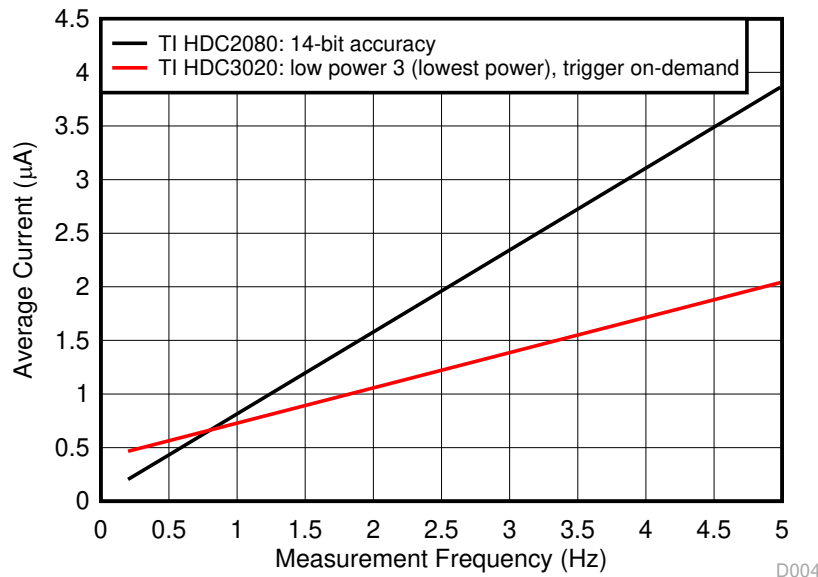


图 2. HDC2080 和 HDC3020 湿度传感器平均电流与测量频率

比较不同器件之间的湿度传感器电流不能只是简单地查看数据表中的数字，尤其是在比较不同供应商的产品时。数据表中通常提供每秒一次测量的平均电流，所以如果这是应用的测量频率，并且测试条件适用于您的应用，则不必计算平均电流，而是要密切关注测试条件。对于图 2，选择 HDC2080 的最高分辨率精度与 HDC3020 最低功耗模式进行比较，因为这些模式具有相似的可重复性和测量噪声。

图 3 对比了 HDC3020 与竞品 A。两个器件有相同的 RH 精度规格： $\pm 1.5\%$ （典型值）和 $\pm 2\%$ （最大值）RH 精度。竞品 A 数据表仅规定了低可重复性的平均电流，所以使用方程式 1 进行计算，使用数据表值进行比较。竞品 A 高可重复性模式与 HDC3020 低功耗模式 3 具有类似的可重复性，所以选择了这些设置来比较两个器件。在连续测量模式（在两个器件上称为自动测量和定期模式）下，如果每秒进行 1 次测量，HDC3020 的电流大约比竞品 A 低 60 倍；而在单冲或触发按需模式下，如果每秒进行 1 次测量，HDC3020 的平均电流比竞品 A 低 10 倍。即

使 HDC3020 配置为低功耗模式 0，具有比竞品 A 更高的可重复性（测量时噪音更小），HDC3020 的电流仍比竞品 A 低得多：在单冲模式下，低 4 倍；在连续测量模式下，低 25 倍。

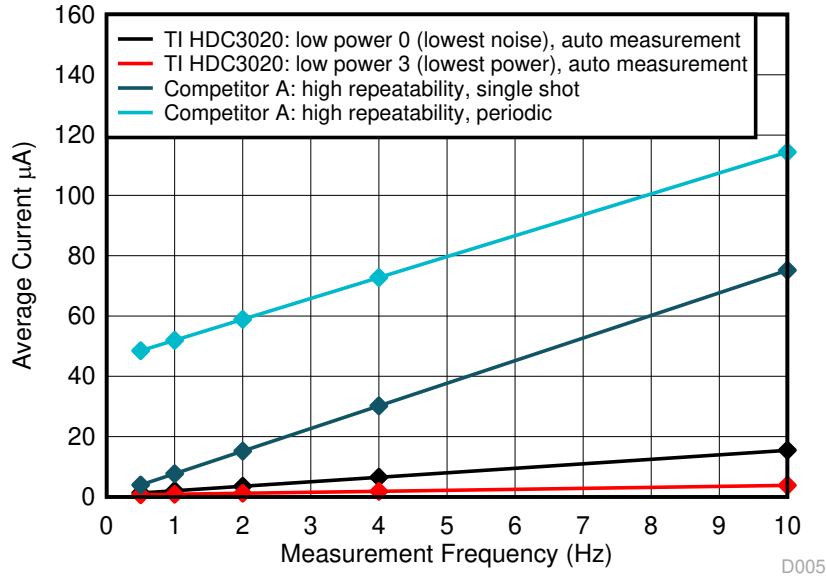


图 3. 竞品平均电流与测量精度对比

从图 3 可以看出，尽管竞品 A 的睡眠电流比 HDC3020 低 2 倍，但 HDC3020 的电流始终更低，因为它的有效电流（在平均电流中占主导地位）低 1/6 倍。相比之下，竞品 A 在定期模式下的睡眠电流几乎高 10 倍，这在较低的测量频率时占据主导地位，并且因为竞品 A 也具有更高的有效电流，它在不同测量频率下保持更高的电流。

传感器特性的系统级电流影响

电池供电应用关注电池使用寿命，因为电池电量不足会给消费者带来更换电池的不便，也会让企业花费巨资来更换电池。为了更大限度地延长电池使用寿命，需要最大限度地减少系统级电流以规划好电池的使用寿命。湿度传感器、I2C 通信、系统中负责读取湿度传感器的处理器所产生的电流都属于系统级考虑因素。自动测量模式、数据就绪中断和警报引脚等系统级特性使处理器更长时间地保持在低功耗状态，所以会对系统总电流产生影响。

若要考虑湿度传感器的系统级电流，需要对方程式 1 进行扩展以包括用于请求测量以及读取测量值的 I2C 通信电流。数据表中通常不提供这些数字，但可以通过基准测试来获取，方法是使用示波器轨迹来测量湿度传感器的电源电流和 I2C 上拉电阻器电流。仅当主机处理器引脚为开漏时，才需要 I2C SCL 引脚上的上拉电阻器。I2C SDA 引脚需要上拉电阻器，并需要调整大小以消耗更多电流，从而实现更长的通信距离，因此它取决于应用。当处理器正在进行 I2C 通信，以及正在等待传感器数据时，也需要考虑与湿度传感器进行通信的处理器器的电流。方程式 2 中给出了平均系统电流计算方法，方程式 3 是对该公式的详细扩展。

$$I_{\text{system_avg}} = I_{\text{sensor_avg}} + I_{\text{I2C_avg}} + I_{\text{MCU_sleep_avg}} \quad (2)$$

其中

- $I_{\text{sensor_avg}}$ 在方程式 1 中定义
- I_{I2Cavg} 是与 I2C 相关的随时间推移的平均电流
- $I_{\text{MCU_sleep_avg}}$ 是处于最低功耗模式的 MCU 等待下一次传感器测量或读取请求时的随时间推移的平均电流

$$I_{\text{system_avg}} = I_{\text{sensor_avg}} + \left(f_m \times \left(I_{\text{sensorI2C}} + I_{\text{MCU_active}} + I_{\text{MCU_I2C}} + \left(I_{\text{SDA}} \times SF_{\text{SDA}} \right) + \left(I_{\text{SCL}} \times SF_{\text{SCL}} \right) \right) \times \left(t_{\text{I2Cmeas}} + t_{\text{I2Cread}} \right) \right) + \left(I_{\text{MCU_sleep}} \times \left(1 - \left(f_m \times \left(t_{\text{I2Cmeas}} + t_{\text{I2Cread}} \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

其中

- $I_{\text{sensor_avg}}$ 在方程式 1 中定义

- f_m 是测量频率，以 Hz 为单位
- $I_{\text{sensorI2C}}$ 是 I2C 通信期间的湿度传感器电流
- $I_{\text{MCU_active}}$ 是 MCU 在允许进行 I2C 通信的最低功耗模式下或应用所需的任何功率模式下的电流
- $I_{\text{MCU_I2C}}$ 是 MCU I2C 外设的电流
- I_{SDA} 是通过 I2C SDA 引脚上拉电阻器的电流。这只是 $V_{\text{DD}}/R_{\text{SDA_pullup}}$ 。
- SF_{SDA} 是比例因数，表示 I2C 数据为零时的百分比，因为 SDA 上拉电阻器只在数据处于低电平时产生电流。
- I_{SCL} 是通过 SCL 上拉电阻器的电流。这只是 $V_{\text{DD}}/R_{\text{SCL_pullup}}$ 。仅当主机处理器引脚为开漏时，才需要此值，否则，如果不存在上拉电阻器，则使用值 0 以删除此项。
- SF_{SCL} 是比例因数，表示时间 SCL 百分比很低。如果 SCL 时钟占空比为 50%，则此值为 0.5
- t_{I2Cmeas} 是 I2C 通信请求测量的持续时间，以秒为单位
- t_{I2Cread} 是 I2C 通信请求和读取湿度和温度数据的持续时间，以秒为单位
- $I_{\text{MCU_sleep}}$ 是处于最低功耗模式的 MCU 等待下一次传感器测量或读取请求时的电流

$I_{\text{system_avg}}$ 不包括与湿度传感器本身相互作用之外的任何应用级电流。其他消耗电流的活动可能包括在 LCD 上显示读数或任何会快速提高平均电流的射频通信，除非因数据日志传输不频繁或本地处理和决策将数据传输限制在需要更广泛行动的条件下，导致数据传输变得稀少。

几个常见的湿度传感器特性使 MCU 可以在睡眠模式下保持更长时间，从而可降低系统电流，或者进入具有更低电流（更深的）睡眠模式，并减少所需的 I2C 通信。HDC3020 系列提供的功能包括：自动测量模式、数据就绪中断和警报。

在自动测量模式下，湿度传感器可以按照用户选择的测量频率自动测量湿度和温度。无需通过 I2C 通信来请求测量，且 MCU 可以保持在低功耗模式（在此模式下，仅运行一个低功耗计时器，用于告知定期唤醒 MCU 以读取传感器数据），因此可以做到节省电流。如果使用了数据就绪中断，则可以节省更多电流，因为 MCU 可以处于最深的睡眠状态（中断时唤醒），直到接收到数据就绪中断。自动测量模式的湿度传感器睡眠电流通常比按需触发、单次测量更高，因为它需要运行一个计时器来自动触发下一次测量。因此，使用 [方程式 3](#) 进行计算，从而确定在此模式下是否可节省系统级电流以及能节省多少电流，因为节省的系统级电流视应用而定。

如果 MCU 只需要监测湿度并在达到特定 RH 百分比时采取措施，则湿度传感器的警报功能可以接管监测任务，并在满足条件时唤醒 MCU。用户可利用 HDC3020 警报功能为待监测的 RH 和温度设置最小和最大阈值。湿度传感器监测温度和 RH 测量，如果测量值超出阈值，则警报引脚设定为高电平。湿度传感器内的这种智能处理使 MCU 在收到唤醒提醒前保持在最深的睡眠模式，而不是在每次测量后读取传感器并检查测量是否超出范围。此警报功能可降低系统电流总体平均值，对于最高频率的自动测量模式设置而言，节省电流最多。

[表 1](#) 总结了系统级电流对系统级电流节省功能的不同组合所起的作用。通过这个表格可以快速了解哪些电流在那个用例的系统电流中起作用。“N/A”代表不适用，意味着在该用例中不使用该电流。 I_{SCL} 只是在 I2C SCL 引脚上使用上拉电阻器时的一个因素。

表 1. 湿度传感器系统级平均电流注意事项

用例	$I_{\text{sensorI2C}}$ 、 I_{SDA} 、 I_{SCL}	t_{I2Cmeas}	t_{I2Cread}	$I_{\text{MCU_sleep}}$ 引脚中断时唤醒	$I_{\text{MCU_sleep}}$ 带 RTC 计时器	$I_{\text{MCU_active}}$	$I_{\text{MCU_I2C}}$
单次读取	是	是	是	不适用	是	是	是
自动测量	是	不适用	是	不适用	是	是	是
带数据就绪功能的自动测量	是	不适用	是	是	不适用	是	是
ALERT (警报)	不适用	不适用	不适用	是	不适用	不适用	不适用

结论

寻找低功耗湿度传感器时需要考虑很多因素。在降低电流方面，待机电流和有效电流以及传感器模式都很重要。此外，在计算系统的功率预算时，必须考虑整个系统级电流，而湿度传感器上的自动测量或警报等功能会对降低某些应用的系统级电流产生重大影响。在每秒 1 次测量和单冲模式下，HDC3020 湿度传感器的电流比其同等精度级别的竞品低大约 10 倍，在自动测量模式下低大约 60 倍。HDC3020 还提供数据就绪中断和警报功能，帮助许多应用降低系统级电流。如果您的应用需要高精度湿度检测和低电流，请优先考虑德州仪器 (TI) 的 [HDC3020](#) 和 [HDC3020-Q1](#)，它们是业内具有超高精度和超低功率的湿度和温度传感器。

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据 (包括数据表)、设计资源 (包括参考设计)、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源, 不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保, 包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任: (1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品, (2) 设计、验证并测试您的应用, (3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更, 恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务, TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.ti.com) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021，德州仪器 (TI) 公司